

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

DOI 10.15593/2409-5125/2018.04.05

УДК 661.183.3:633/635+628.316.12:665.7

**О.В. Колотова, И.В. Соколова, И.В. Владимцева,
К.Е. Заикина, А.О. Павлова**

Волгоградский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА БИОСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ РАСТЕНИЕВОДСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Проведен скрининг микроорганизмов, утилизирующих нефть и дизельное топливо, выделенных из объектов окружающей среды и промышленных отходов. Установлено, что наиболее активные бактериальные штаммы были изолированы из донных отложений Северного Каспия. Определены показатели гидрофобности и эмульгирующая активность четырех бактериальных штаммов, характеризующихся максимальной активностью и перспективных в качестве деструкторов нефтепродуктов. Исследована динамика роста этих штаммов на питательных средах, содержащих нефть или дизельное топливо в качестве единственного источника углерода. В результате комплекса проведенных исследований показано, что наибольшей скоростью роста и деструктивной активностью в отношении нефтяных углеводородов обладает штамм, обозначенный как ВГТУ-02. Изучена возможность применения некоторых отходов растениеводства (лузги подсолнечника, шелухи пшеницы и гречихи) в качестве матрицы для получения биосорбента на основе ВГТУ-02 для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Разработана методика иммобилизации нефтеокисляющего бактериального штамма на носитель из подготовленной лузги подсолнечника. Прикрепление микроорганизмов осуществляли статическим методом при перемешивании в течение 1 ч бактериальной взвеси и подсолнечной лузги. Определена эффективность очистки модельной жидкости от сырой нефти при использовании суспендированных микроорганизмов штамма ВГТУ-02, подготовленной лузги подсолнечника и биосорбента на их основе. Показано, что в сходных условиях наибольшая эффективность очистки от нефти достигается при использовании биосорбента и составляет 99,41 %. Разработанный биосорбент может быть использован для удаления остаточных количеств нефтепродуктов из сточных вод, прошедших стадию механической и физико-химической очистки.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, сточные воды, биосорбенты, бактериальные штаммы, растительные отходы, иммобилизация.

Разработка биосорбента на основе отходов растениеводства для очистки сточных вод от нефтепродуктов / О.В. Колотова, И.В. Соколова, И.В. Владимцева, К.Е. Заикина, А.О. Павлова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 4. – С. 58–71. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.04.05

Kolotova O.V., Sokolova I.V., Vladimtseva I.V., Zaikina K.E., Pavlova A.O. Development of a biosorbent based on garden waste for cleaning wastewater from oil products. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 4. Pp. 58-71. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.04.05

Одной из актуальных современных проблем, на решение которой направлены усилия многих исследователей, является совершенствование существующих и разработка новых методов биологической очистки сточных и природных вод, загрязненных органическими соединениями, в том числе нефтепродуктами.

Эффективными методами очистки воды от нефти и нефтепродуктов являются сорбционные и биохимические, однако они имеют свои недостатки. Для биохимических это падение скорости и глубины очистки при небольшой концентрации загрязнителя в водной фазе. Недостаток сорбционных методов заключается в том, что при высокой концентрации загрязнителя возникают технико-экономические проблемы с регенерацией твердофазного сорбента. Кроме того, эти методы не обеспечивают полного извлечения загрязнителя и требуют утилизации шлама.

В настоящее время большое внимание уделяется новым высокоэффективным технологиям – производству биопрепаратов, объединяющих достоинства сорбционного и биодеструктивного методов утилизации нефтяных загрязнений [1, 2]. На сегодняшний день разработаны и успешно применяются многочисленные препараты на основе микробных культур (Путидойл, Деворойл, Эконадин, Носкум, Фенобак, Гидробак и др.). Основными достоинствами таких продуктов являются их экологическая чистота, широкая сырьевая база, высокая гидрофобность и нефтеемкость при сравнительно низкой стоимости [3]. В то же время поиск новых активных штаммов и эффективных материалов для биосорбции нефтепродуктов остается актуальной задачей исследований из-за специфичности условий очистки (температурного режима, различий в составе сточных вод и нефтепродуктов).

При иммобилизации клеток микроорганизмов с целью создания биосорбентов особое внимание следует уделять правильному подбору носителя, пригодного для промышленного использования и заселения его нужным микроорганизмом или их популяцией с возможно большей плотностью. С этой целью могут быть использованы практически все сорбенты органического (природные и синтетические) и неорганического происхождения [4]. Описано применение различных вторичных материалов в качестве матриц для получения биосорбентов, что снижает нагрузку на окружающую среду и делает экозащитные мероприятия более экономичными [5, 6].

Наиболее перспективные материалы для прикрепления микроорганизмов – естественное органическое сырье и отходы производства растительного происхождения. В качестве последних можно применять различную шелуху: гречихи, риса, подсолнечника, проса, кукурузы, ячменя и т.д. Они являются органической частью существующих экосистем. Необходимо отметить, что отходы в виде лузги (риса, проса, гречихи, под-

солнечника и др.) относятся к крупнотоннажным отходам сельского хозяйства и ежегодно образуются в РФ в количестве около 3000 тыс. т [7]. Литературные данные показывают, что применение сорбентов на основе растительных оболочек, полученных при обмолоте проса, шелухи гречихи и шелухи риса, позволяет достичь высокой степени извлечения нефтепродуктов из поверхностных вод [8].

Целью настоящего исследования стала разработка методики получения биосорбента на основе отходов растениеводства и нефтеокисляющих бактериальных штаммов с целью его применения для очистки нефтесодержащих сточных вод.

На первом этапе исследования была поставлена задача подбора бактериальных штаммов, обладающих наибольшей деструктивной активностью в отношении сырой нефти и нефтепродуктов. В ходе исследований изучали 22 бактериальных штамма, выделенных из объектов окружающей среды и промышленных отходов, находящихся в рабочей коллекции музейных культур кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности Волгоградского государственного технического университета.

Отбор проводили, выращивая микроорганизмы в жидкой синтетической минеральной среде Диановой – Ворошиловой, содержащей нефть или дизельное топливо в качестве единственного источника углерода. Среда имела следующий состав (г/л): K_2HPO_4 – 1; NH_4NO_3 – 1; $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,01; KH_2PO_4 – 1; $MgSO_4$ – 0,2; нефть (дизельное топливо) – 20, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (конц. р-р) – 3 капли. Бактериальные культуры выращивали при 28–30 °С в стационарных условиях в течение 14 сут.

Оценка активности по отношению к источникам углерода проводилась визуально в течение 14 сут. В качестве контроля использовали среду, не засеянную микроорганизмами. Результаты скрининга в балльной системе, составленной по методике Э.Р. Файзулиной, О.Н. Ауэзова и др. [9], представлены в табл. 1.

Приведенные в таблице данные показывают, что 4 штамма (ВГТУ-13, ЗСК-1, УВ-2, УВ-18) проявили активность, оцениваемую в 4 балла, при использовании в качестве источника углерода 2 % нефти, у 4 штаммов (УВ-17, ВГТУ-22, УВГ-11) активность по отношению к нефти – 3 балла; у одного штамма (ЗСК-1) наблюдали активность в 4 балла по отношению к дизельному топливу, два бактериальных штамма (ВГТУ-02 и ВГТУ-13) проявили активность к данному виду источника углерода в 3 балла. При росте наиболее активных штаммов в жидкой среде с нефтью отмечали отсутствие маслянистости на стенках колб, было заметно помутнение среды вследствие обильного бактериального роста, нефть переходила в состояние эмульсии, распре-

деленной по поверхности. В контрольной колбе среда прозрачная, источники углерода находились без всяких изменений в цвете и агрегатном состоянии. Факт диспергирования нефти в колбах с активными бактериальными штаммами говорит о том, что они в определенных условиях культивирования способны синтезировать ПАВ, эмульгирующие нефть. По результатам эксперимента из 22 штаммов было выбрано 4 наиболее активных деструктора нефтяных углеводородов (ВГТУ-02, ЗСК-1, ВГТУ-13, УВ-2).

Таблица 1

Активность нефтеокисляющих штаммов

Штамм	Источник выделения	Активность, баллы		Штамм	Источник выделения	Активность, баллы	
		Нефть	Диз. топливо			Нефть	Диз. топливо
ВГТУ-02	Донные отложения	3	3	УВ-2	Донные отложения	4	1
ВГТУ-03		1	1	УВ-4		1	1
ВГТУ-05	Почва	2	1	УВ-5		1	1
ВГТУ-6	Смыв	1	1	УВ-7		2	2
ВГТУ-07		1	1	УВ-8		1	1
ВГТУ-10	Почва	1	1	УВ-9		1	1
ВГТУ-13	Донные отложения	4	3	УВ-12		2	2
ВГТУ-22	Нефтешлам	3	1	УВ-13		1	1
ЗСК-ДВ	Донные отложения	1	1	УВ-16		1	1
ЗСК-1		4	4	УВ-18		Морская вода	4
ЗСК-2		1	1	УВГ-11	Донные отложения	3	1

Примечание: 1 – слабый рост; 2 – умеренный рост; 3 – хороший рост; 4 – очень хороший рост; донные отложения и морская вода – имеются в виду пробы воды или донные отложения из района Северного Каспия; смыв – смыв с оборудования мясокомбината.

Следующий этап – определение показателя гидрофобности и эмульгирующей активности отобранных для дальнейшего исследования микроорганизмов. Показатель гидрофобности (ПГ) демонстрирует соотношение гидрофильных и гидрофобных компонентов клеток в поверхностных слоях их оболочки и является важной физико-химической характеристикой. Гидрофобно-гидрофильную природу поверхности микроорганизмов как интегрального показателя ее структуры необходимо учитывать в биологических исследованиях при изучении адгезионных процессов с участием клеток и поверхностей различной структуры, а также роста на углеводородах, свя-

занного с прямым потреблением субстрата [10]. Известно, что нефтеокисляющие бактерии, взаимодействуя с углеводородным субстратом, способны к непосредственному контакту с углеводородом за счет гидрофобной клеточной поверхности, обусловленной наличием в ней липидных компонентов [11, 12]. Определение гидрофобности поверхности клеток проводили по методу Розенберга в модификации Серебряковой [13].

При измерении ПГ в качестве углеводородной фазы использовали хлороформ. Определение ПГ проводились по следующей схеме: каждую из исследуемых культур высевали истощающимся штрихом на поверхность плотного питательного агара в чашках Петри, инкубировали при комнатной температуре в течение 3–7 сут, в зависимости от индивидуальной скорости роста. Биомассу бактерий смывали с питательного агара фосфатным буфером (рН = 7). Разбавляли в 10 раз 1 мл суспензии клеток, после чего измеряли оптическую плотность (ОП₀) на фотоэлектроколориметре КФК-2-УХЛ-4.2. 4 мл бактериальной суспензии с 1 мл хлороформа встряхивали в течение 15 мин в пробирке объемом 10 мл, затем отстаивали для разделения фаз в вертикальном положении в течение 1 ч. После измерения оптической плотности смеси бактериальной суспензии с хлороформом (ОП₁) показатель гидрофобности (%) рассчитывали по формуле

$$\text{ПГ} = 100 - \left[(\text{ОП}_1 \cdot 100 \%) / \text{ОП}_0 \right],$$

где ОП₀ – исходная оптическая плотность бактериальной суспензии, усл. ед.; ОП₁ – оптическая плотность суспензии после встряхивания с хлороформом, усл. ед. [13].

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1, а.

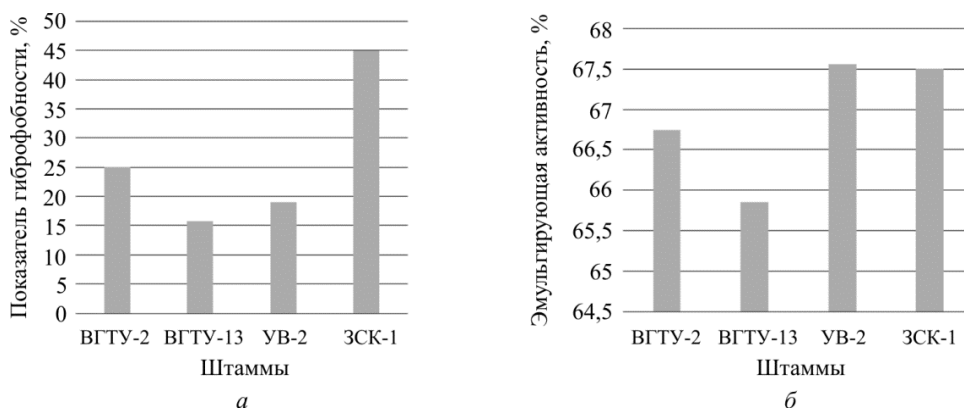


Рис. 1. Результаты определения показателя гидрофобности (а) и эмульгирующей активности (б) для исследуемых штаммов

Данные, представленные на рис. 1, показывают, что штамм ЗСК-1 характеризуется максимальным значением показателя гидрофобности, равным 45 %.

Эмульгирующую активность (ЭА) определяли встряхиванием в химической пробирке 4 мл бактериальной суспензии с 3 мл дизельного топлива с последующим отстаиванием в вертикальном положении в течение 1 ч для разделения водной и углеводородной фазы. Расчет показателя проводили по формуле

$$\text{ЭА} = \left(\frac{H_3}{H_\Sigma} \right) 100 \%,$$

где H_3 – высота столбика эмульсии, мм; H_Σ – высота всего столбика жидкости в пробирке, мм.

Результаты расчетов приведены на рис. 1, б. Полученные результаты показывают, что максимальной эмульгирующей активностью из четырех исследуемых штаммов обладает штамм УВ-2, выделенный из донных отложений Северного Каспия [14] (67,56 %), практически на том же уровне эмульгирующая активность у ЗСК-1 (67,50 %), также изолированного из донных отложений [14]. Незначительно ниже (66,74 %) данный показатель у штамма ВГТУ-02.

Согласно литературным источникам, микроорганизмы, имеющие индекс эмульгирования больше 50 %, считаются перспективными с точки зрения продукции ими поверхностно-активных веществ и утилизации углеводородных субстратов [15]. Полученные данные также свидетельствуют о том, что указанные микроорганизмы являются активными продуцентами поверхностно-активных веществ и, следовательно, характеризуются высоким деструктивным потенциалом в отношении нефтяных углеводородов.

Немаловажным критерием выбора микробной составляющей биосорбента является скорость роста и урожайность иммобилизуемой культуры. Для исследования динамики роста бактериальных нефтеструктуров их выращивали в стационарных условиях в колбах объемом 200 мл при температуре 30 °С. Объем питательной среды, содержащей 2 об. % нефти или дизельного топлива в качестве источника углерода, составлял 50 мл, объем засеваемой бактериальной взвеси – 5 мл (10^9 м. кл./мл). Через 1, 2, 3, 5, 7 сут осуществляли высев культуральной жидкости на поверхность агаризованной среды в чашки Петри для определения концентрации жизнеспособных клеток. Результаты определения динамики роста бактериальных культур на питательных средах с нефтью и дизельным топливом в качестве источников углерода представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

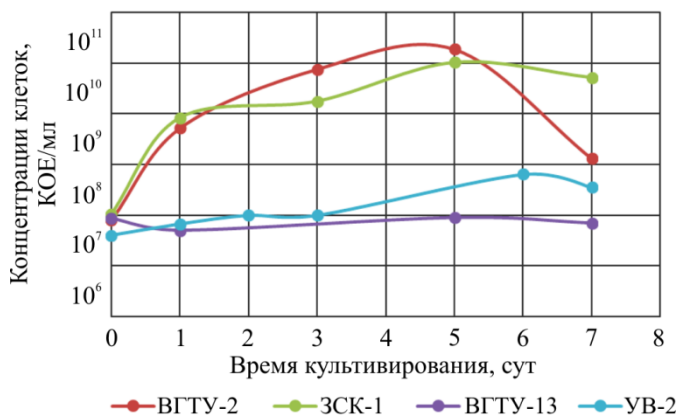


Рис. 2. Динамика роста исследуемых бактериальных штаммов на среде с нефтью (2 об. %)

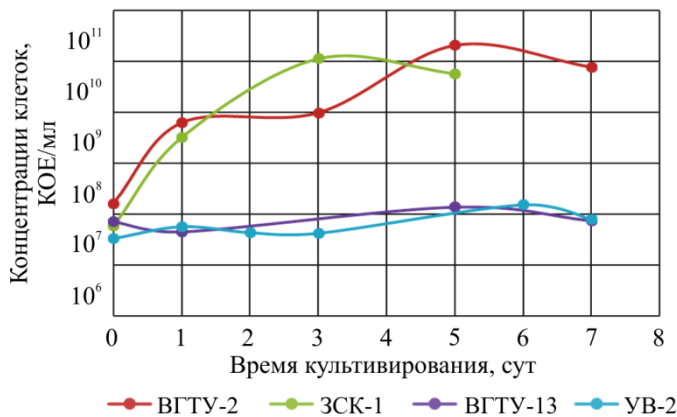


Рис. 3. Динамика роста исследуемых микроорганизмов на среде с дизельным топливом (2 об. %)

Приведенные на рис. 2 и 3 зависимости показывают, что наибольший прирост биомассы на питательных средах, содержащих в качестве источников углерода нефть и дизельное топливо, дает штамм ВГТУ-02, что свидетельствует об активном использовании изучаемыми бактериями органических компонентов в качестве источников питания. Штамм ВГТУ-02 был выделен из донных отложений Северного Каспия на селективной среде для липолитических микроорганизмов [16]. Визуальная оценка изменений, происходящих в колбах с культивируемыми микроорганизмами, также показывает способность бактерий ВГТУ-02 эмульгировать и утилизировать нефть и дизельное топливо: через 7 сут наблюдали отсутствие первоначально присутствовавшего органического слоя и образование обильных хлопьев на поверхности минеральной среды.

Для разработки технологии получения биосорбента на следующем этапе исследований изучали способность бактерий штамма ВГТУ-02 к прикреплению на носители, представляющие собой растительные отходы сельскохозяйственного производства – лузгу подсолнечника, пшеничные отруби, шелуху гречихи.

Для этого растительный материал измельчали, классифицировали на виброситах и отбирали фракцию с диаметром частиц менее 0,1 мм. Измельченные растительные компоненты стерилизовали в сухожаровом шкафу при температуре 160 °С в течение 1 ч.

Иммобилизацию микроорганизмов на растительные носители осуществляли методом статической адсорбции путем перемешивания 30 мл взвеси микроорганизмов, приготовленной по стандарту мутности на 10 ед. в фосфатном буфере (рН = 7) и 1 г носителя на магнитной мешалке при скорости 100 об./мин и температуре 30 °С. Для приготовления микробной взвеси использовали суточную культуру микроорганизмов, выращенных на скошенном агаре. Исходную концентрацию микроорганизмов во взвеси определяли высевом на чашки Петри с мясо-пептонным агаром (МПА). По истечении времени перемешивания производили отстаивание для осаждения частиц носителя и высеивали надосадочную культуральную жидкость на МПА для определения остаточной концентрации микроорганизмов в суспензии. Количество иммобилизованных бактериальных клеток, в % от исходного, определяли по формуле

$$K_n = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{исх}}} 100 \%,$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация бактериальной суспензии; $C_{\text{кон}}$ – остаточная концентрация бактериальной суспензии.

С целью разработки промышленной технологии производства сорбентов на основе растительных отходов была исследована возможность прикрепления микроорганизмов, выращенных глубинным способом. Выращивание биомассы осуществляли в ферментере в течение 24 ч при оптимальных для бактерий данного штамма условиях, после чего культуральную жидкость перемешивали на магнитной мешалке с измельченным носителем в течение 1 ч. Результаты эксперимента по подбору носителя для иммобилизации микроорганизмов представлены в табл. 2.

Результаты эксперимента, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что эффективность иммобилизации ВГТУ-02 на подсолнечную лузгу в условиях глубинного культивирования выше по сравнению с пшеничными отрубями и шелухой гречихи. Однако при поверхностном культивировании в описанных условиях применение подсолнечной лузги наи-

менее эффективно, хотя и сопоставимо в процентном отношении с результатами, полученными после глубинного культивирования. Промышленное производство биопрепарата требует больших масштабов получения бактериальной биомассы, что обеспечивается именно глубинным культивированием микроорганизмов.

Таблица 2

Эффективность иммобилизации бактерий ВГТУ-02
на растительные материалы

Носитель	К _и , %	
	Поверхностное культивирование	Глубинное культивирование
Лузга подсолнечника	81,73	83,17
Пшеничные отруби	98,2	65,9
Шелуха гречихи	97,47	8,57

Иммобилизация штамма ВГТУ-02 на подсолнечную лузгу показывает более стабильные результаты по сравнению с другими изученными материалами, поэтому дальнейшие исследования по получению и применению биосорбента проводили именно с лузгой подсолнечника. Свойства данного материала, определяющие успешность его использования в качестве матрицы для получения биосорбента, это пористость – 90 % от объема и относительно невысокая гигроскопическая влажность лузги – около 16 % [17]. Известно, что подсолнечная лузга содержит значительное количество пентозанов – 23,6–28,0 %, клетчатки – 52,0–66,0 %, лигнина – 24,8–29,6 %, целлюлозы – 31,0–42,4 %, вещества жировой природы – в количествах, зависящих от сорта подсолнечника и степени термического и механического воздействия на семена (около 3 %) [18]. Таким образом, доступность, физико-химические свойства, химический состав лузги подсолнечника и полученные в ходе экспериментов данные позволяют считать данный материал перспективным для промышленного получения биосорбента для очистки нефтезагрязненных сред.

С целью оценки эффективности применения разработанного биосорбента для очистки модельных сред от нефти исходное и конечное содержание нефтепродуктов в средах определяли флуориметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.4.128–98) на анализаторе жидкости «Флюорат-02-2М».

В ходе эксперимента сопоставили эффективность очистки модельной системы от нефти при использовании суспендированных микроорганизмов ВГТУ-02, подготовленной подсолнечной лузги и биосорбента на их основе. Для проведения эксперимента в 4 флакона с 120 мл питательной среды Диановой – Ворошиловой вносили 2,4 мл нефти (2 об. %). Во флакон № 1 добавляли свежеприготовленный биосорбент. Для этого после перемешивания

вания в течение одного часа 4 г подготовленной лузги и суспензии бактерий в фосфатном буфере биосорбент отделяли декантацией от буферного раствора и количественно переносили во флакон с модельной жидкостью. Концентрация биосорбента в модельной среде, таким образом, составила 35 мг/мл. Во флакон № 2 засевали 12 мл (10 об. %) микробной взвеси с концентрацией бактерий ВГТУ-02 10^9 . Во флакон № 3 вносили 4 г подготовленной подсолнечной лузги. Флакон № 4 содержал исходную питательную среду и нефть в количестве 2 об. % (контроль).

Подготовленные таким образом модельные системы помещали в термостат и культивировали при температуре 30 °С, осуществляя наблюдение за изменением визуальных параметров. При этом отмечено постепенное увеличение мутности модельных жидкостей во флаконах № 1 и № 2, связанное с увеличением концентрации микроорганизмов, и нарастание степени эмульгирования нефтяной пленки. Жидкость во флаконе № 3 оставалась практически прозрачной, при этом нефтяная пленка собиралась частицами лузги. При определении динамики роста изучаемого бактериального штамма на нефтесодержащей среде (см. рис. 2) после 5 сут культивирования концентрация микроорганизмов начала снижаться и к 7 сут не достигла исходного значения, поэтому в эксперименте с применением биосорбента культивирование было продолжено до 10 сут.

По истечении времени культивирования определяли остаточное содержание нефтепродуктов в жидкой фазе. Результаты проведенного исследования представлены в табл. 3.

Таблица 3

Экспериментальные и расчетные данные эффективности процесса очистки модельных растворов от нефти

№ п/п	Состав модельного раствора	Исходная концентрация нефти $\pm \Delta$, г/дм ³	Конечная концентрация нефти $\pm \Delta$, г/дм ³	Степень очистки от нефти, %
1	Минеральная питательная среда, нефть, биосорбент	$647 \pm 161,8$	$3,82 \pm 0,96$	99,41
2	Минеральная питательная среда, нефть, суспензия ВГТУ-02	$647 \pm 161,8$	$199,7 \pm 49,9$	69,13
3	Минеральная питательная среда, нефть, подсолнечная лузга	$647 \pm 161,8$	$28,0 \pm 7,0$	95,67

Приведенные в табл. 3 данные показывают, что при культивировании в течение 10 сут степень очистки от нефти модельного раствора суспендированными микроорганизмами штамма ВГТУ-02 составила 69,13 %.

Эффективность очистки при использовании подготовленной подсолнечной лузги в качестве сорбента – 95,67 %. При тех же условиях степень очистки от нефти при использовании биосорбента составила 99,41 %. Несмотря на то что эффективность очистки растворов от нефти при использовании полученного биосорбента и специально подготовленной подсолнечной лузги различается незначительно (на 3,74 %), применение биосорбции имеет значительно большие перспективы по сравнению с адсорбцией растительным отходом, так как практически исключает проблему утилизации отработанного нефтезагрязненного сорбента.

Таким образом, в ходе проведенных исследований осуществлен скрининг бактериальных нефтедеструкторов: исследована нефтеокисляющая активность 22 бактериальных штаммов, выделенных из различных объектов окружающей среды. Установлено, что максимальной активностью обладают 4 штамма, обозначенные как ВГТУ-02, ВГТУ-13, УВ-2, ЗСК-1. Для них были определены показатели гидрофобности (максимальное значение у ЗСК-1) и эмульгирующей активности (максимум у УВ-2). Изучена динамика роста указанных бактериальных штаммов на средах, содержащих в качестве единственного источника углерода нефть и дизельное топливо. Показано, что наибольшей скоростью роста на данных субстратах обладает штамм ВГТУ-02. Исследована способность бактерий ВГТУ-02 к иммобилизации на отходы растениеводства с целью получения биосорбента. Установлено, что оптимальным материалом для прикрепления изучаемых микроорганизмов является лузга подсолнечника ($d < 0,1$ мм). Разработана методика получения биосорбента и показано, что эффективность очистки модельных систем от нефти при использовании препарата составляет 99,41 %, что на 30 % выше, чем при использовании микроорганизмов штамма ВГТУ-02. Применение полученного биосорбента перспективно для доочистки сточных вод, прошедших основные стадии механической и физико-химической очистки от нефтепродуктов.

Библиографический список

1. Эколого-технологический комплекс для очистки гидросферы от нефти и нефтепродуктов / М.В. Щепакин, И.Г. Гафаров, Г.М. Мишулин, И.Х. Ибрафиллов // Экология и промышленность России. – 2000. – № 11. – С. 40–44.
2. Шумилова И.Б., Максимович Н.Г. Возможные пути борьбы с последствиями разливов нефтепродуктов // Геология, разработка, бурение и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья. – Пермь, 1999. – № 2. – С. 240–249.
3. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: Химия и экология. – 2008. – № 1. – С. 32–37.
4. Суржко Л.Ф. Очистка природных и сточных вод от нефтезагрязнений иммобилизованными углеводородокисляющими микроорганизмами: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 1999. – 117 с.
5. Белик Е.С., Злобина К.А. Исследование возможности использования отходов производства в качестве биосорбента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 3 (23). – С. 62–76.

6. Белик Е.С. Оценка эффективности применения биосорбента в технологии биологической очистки воды и почвы от нефтепродуктов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4 (23). – С. 104–114.
7. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И.Г. Голубев, И.А. Шванская, Л.Ю. Коноваленко, М.В. Лопатников; ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2011. – 296 с.
8. Аренс В.Ж., Гридин О.М., Яншин А.Л. Нефтяные загрязнения: как решить проблему // Экология и промышленность России. – 1999. – № 9. – С. 33–36.
9. Файзулина Э.Р., Ауэзова О.Н. Нефтеокисляющая активность и идентификация микроорганизмов, выделенных из Каспийского моря // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. – 2014. – № 3. – С. 25–29.
10. Яскович Г.А., Елькин Г.Э. Характеристика гидрофобности поверхности клеток микроорганизмов // Микробиология. – 1995. – № 7. – С. 137.
11. Яскович Г.А. Роль гидрофобности клеточной поверхности в адсорбционной иммобилизации штаммов бактерий // Прикл. биохим. и микробиол. – 1998. – Т. 34, № 4. – С. 410–413.
12. Zhang Y., Miller R.M. Effect of rhamnolipid (biosurfactant) on solubilization and biodegradation of n-alkanes // Appl. Environ. Microbiol. – 1995. – Vol. 61. – P. 2247–2251.
13. Оценка гидрофобных свойств бактериальных клеток по адсорбции на поверхности капель хлороформа / Е.В. Серебрякова [и др.] // Микробиология. – 2002. – Т. 71, № 2. – С. 237–239.
14. Изучение активности нефтеокисляющих штаммов, выделенных из объектов окружающей среды, для получения биопрепарата для очистки производственных сточных вод / Е.О. Шмелева, И.В. Соколова, Д.А. Сиденко // Научные труды Кубанского гос. технол. ун-та (Научные труды КубГУ) : электрон. сетевой политематический журнал. – 2017. – № 7 [по матер. I междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность и ресурсосбережение в техносфере» (г. Краснодар, 6–7 апреля 2017 г.)]. – С. 56–62. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1770> (дата обращения: 10.08.2018).
15. Эмульгирующая активность некоторых углеводородокисляющих микроорганизмов / А.Ж. Бектурова, Ж.К. Масалимов, Ж.Ж. Мархаметова, Р.Ш. Еркасов, Р.С. Оразбаева, А.О. Дарибай // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2013. – № 3/1 (59). – С. 56–58.
16. Выделение и изучение липидоокисляющих микроорганизмов – обитателей Северного Каспия / О.В. Колодова, И.В. Соколова, И.В. Владимцева, Т.В. Беленькова, В.С. Шевцова // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2017. – Т. 20, № 6. – С. 135–138.
17. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности (образование и использование). Справочник / под ред. А.Е. Юрченко. – М.: Экономика, 1984. – 327 с.
18. Калашникова Л.И., Овчинникова А.А., Калашникова А.А. Исследование технологических свойств растительных отходов как альтернативного экологического топлива // Вектор науки ТГУ. – 2011. – № 4 (18). – С. 32–34.

References

1. Skhepakin M.V., Gafarov I.G., Mishulin G.M., Israfilov I.Kh. Ekhkologo-tekhnologicheskii kompleks dlya oчитки gidrosfery ot nefi i nefteproduktov [Ecological and technological complex for cleaning the hydrosphere from oil and oil products]. *Ecology and Industry of Russia*, 2000, no. 11, pp. 40–44.
2. Shumilova I.B., Maksimovich N.G. Vozmozhnye puti borby s posledstviyami razlivov nefteproduktov [Possible ways to deal with the effects of oil spills]. *Geologiya, razrabotka, burenie i ekspluatatsiya neftyanykh territoriy Permskogo Prikamya*, 1999, no. 2, pp. 240–249.
3. Artemov A.V., Pinkin A.V. Sorbcionnye tekhnologii oчитки vody ot neftyanykh zagryazneniy [Sorption technology of water purification from oil pollution]. *Water: Chemistry and Ecology*, 2008, no. 1, pp. 32–37.
4. Surzhko L.F. Oчитка prirodnnykh i stochnnykh vod ot neftezagryazneniy immobilizovannyimi uglevodородokislyayuschimi mikroorganizmami: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg, 1999, 117 p.
5. Belik E.S., Zlobina K. Vording. Issledovanie vozmozhnosti ispolzovaniya otkhodov proizvodstva v kachestve biosorbenta [The research of possibility use of waste of production as biosorbents]. *PNRPU. Applied ecology. Urban development*, 2016, no. 3 (23), pp. 62–76.
6. Belik E.S. Ocenka effektivnosti primeneniya biosorbenta v tekhnologii biologicheskoy oчитки vody i vody ot nefteproduktov [Evaluation of efficiency of application of oil biocorbent in

the technology of biological cleaning water and soil]. *PNRPU. Applied ecology. Urban development*, 2017, no. 4 (23), pp. 104-114.

7. Golubev I.G., SHvanskaya I.A., Konovalenko L.Yu., Lopatnikov M.V. Recikling othodov v APK: spravochnik. Moscow, Rocinformagrotekh, 2011, 296 p.

8. Arens V.Zh., Gridin O.M., YAnshin A.L. neftyanye zagryazneniya: kak reshit problem [Oil pollution: how to solve the problem]. *Ecology and Industry of Russia*, 1999, no. 9, pp. 33-36.

9. Fazhulina A.R., Auekhzova O.N. Nefteokislyayuschaya aktivnost i identifikaciya mikroorganizmov, vydelennykh iz Kaspiyskogo morya [Oil-oxidizing activity and identification of microorganisms isolated from the Caspian Sea]. *Izvestiya Nacionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya biologicheskaya i medicinskaya*, 2014, no. 3, pp. 25-29.

10. Yaskovich G.A., El'kin G.E. Kharakteristika gidrofobnosti poverkhnosti kletok mikroorganizmov [Characteristics of the hydrophobicity of the surface of the cells of microorganisms]. *Mikrobiology*. 1995, vol. 64, no. 1, pp. 137-139.

11. Yaskovich G.A. Rol gidrofobnosti kletochnoy poverkhnosti v adsorbcionnoy immobilizacii shtammov bakteriy [The role of cell surface hydrophobicity in the adsorption immobilization of bacterial strains]. *Applied biochemistry and microbiology*, 1998, vol. 34, no. 4, pp. 410-413.

12. Chzhan Y., Miller R.M. Effect of rhamnolipid (biosurfactant) on solubilization and biodegradation of n-alkanes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1995, vol. 61, pp. 2247-2251.

13. Serebryakova E.V. et al. Ocenka gidrofobnykh svyazey bakterialnykh blokov po adsorbicii na poverkhnosti kapel khloroforma [Evaluation of the hydrophobic properties of bacterial cells by adsorption on the surface of chloroform droplets]. *Mikrobiology*, 2002, vol. 71, no. 2, pp. 237-239.

14. Shmeleva E.O., Sokolova I.V., Sidenko D.A. Izuchenie aktivnosti nefteokislyayushchih shtammov, vydelennykh iz ob"ektov okruzhayushchej sredy, dlya polucheniya biopreparata dlya oчитki proizvodstvennykh stochnykh vod. Nauchnye trudy Kubanskogo gos. tekhnol. un-ta. Krasnodar. 2017, available at: <http://ntk.kubstu.ru/file/1770> (accessed 10 August 2018).

15. Bekturova A.Zh., Masalimov Zh.K., Markhametova Zh.Zh., Erkasov R.Sh., Orazbaeva R.S., Daribadz V.O. Ehmul'giruyushchaya aktivnost nekotorykh uglevodorodokislyayuschikh mikroorganizmov [Emulsifying activity of some hydrocarbon-oxidizing microorganisms]. *Scientific J. Al-Farabi Kazakh National University. Biology series*. 2013, no. 3/1(59), pp. 56-58

16. Kolotova O.V., Sokolova I.V., Vladimircева I.V., Belenkova T.V., Shevczova V.S. Vydelenie i izuchenie lipidookislyayuschikh mikroorganizmov-obitateley Severnogo Kaspiya. *Vestnik Kazanskogo tekhnol. un-ta*, 2017, vol. 20, no. 6, pp. 135-138.

17. Vtorichnye material'nye resursy. Ed. Urchenko L.E. Moscow: Ekonomika. 1984, 489 p.

18. Kalashnikova L.I., Ovchinnikova A.A., Kalashnikova A.A. Issledovanie tekhnologicheskikh svoystv rastitel'nykh othodov kak al'ternativnogo ehkologicheskogo topliva [Study of the technological properties of plant waste as an alternative ecological fuel]. *Vektor nauki Vestnik nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 4, pp. 32-34.

Получено 28.05.18

**O. Kolotova, I. Sokolova, I. Vladimtseva,
K. Zaikina, A. Pavlova**

DEVELOPMENT OF A BIOSORBENT BASED ON GARDEN WASTE FOR CLEANING WASTEWATER FROM OIL PRODUCTS

A screening of microorganisms that utilize oil and diesel fuel, isolated from environmental objects and industrial wastes was carried out. It has been established that the most active bacterial strains were isolated from bottom sediments of the Northern Caspian. Indicators of hydrophobicity and emulsifying activity of four bacterial strains, characterized by maximum activity and promising as destructors of petroleum products, were determined. The growth dynamics of these strains on nutrient media containing oil or diesel

as the sole carbon source has been investigated. As a result of the conducted studies, it has been shown that the strain designated as VSTU-02 has the highest growth rate and destructive activity with respect to petroleum hydrocarbons. The possibility of using some garden wastes (sunflower husk, wheat and buckwheat husks) as a matrix for obtaining a biosorbent based on VGTU-02 for the purification of wastewater from oil products was studied. The methodology of immobilization of oil-oxidizing bacterial strain on the carrier of prepared sunflower husk has been developed. The attachment of microorganisms was carried out by the static method with stirring for 1 hour of bacterial suspension and sunflower husk. The efficiency of cleaning the model liquid from crude oil was determined using suspended microorganisms of the VSTU-02 strain, prepared sunflower husk and a biosorbent based on them. It is shown that under similar conditions, the highest oil cleaning efficiency is achieved using a biosorbent and amounts to 99.41%. The developed biosorbent can be used to remove residual quantities of petroleum products from wastewater that have undergone mechanical and physico-chemical cleaning.

Keywords: oil, oil products, wastewater, biosorbents, bacterial strains, garden waste, immobilization.

Колотова Ольга Владимировна (Волгоград, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: olgakolotova@mail.ru).

Соколова Ирина Владимировна (Волгоград, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: mogi-irina@yandex.ru).

Владимцева Ирина Владимировна (Волгоград, Россия) – д-р биол. наук, профессор кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: alexvlad32@yandex.ru).

Заикина Ксения Евгеньевна (Волгоград, Россия) – магистрант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: kseniya13.94@mail.ru).

Павлова Алиса Олеговна (Волгоград, Россия) – магистрант кафедры «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности», Волгоградский государственный технический университет (400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, e-mail: pavlova-alica@mail.ru).

Kolotova Olga (Volgograd, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Industrial Ecology and Life Safety chair, Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenina av., 28 e-mail: olgakolotova@mail.ru).

Sokolova Irina (Volgograd, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor of Industrial Ecology and Life Safety chair, Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenina av., 28, e-mail: mogi-irina@yandex.ru).

Vladimtseva Irina (Volgograd, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Professor of Industrial Ecology and Life Safety chair, Volgograd State Technical University, (400131, Volgograd, Lenina av., 28, e-mail: alexvlad32@yandex.ru).

Zaikina Kseniya (Volgograd, Russian Federation) – Undergraduate Student of Industrial Ecology and Life Safety chair, Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenina av., 28, e-mail: kseniya13.94@mail.ru).

Pavlova Alisa (Volgograd, Russian Federation) – Undergraduate Student of Industrial Ecology and Life Safety chair, Volgograd State Technical University (400131, Volgograd, Lenina av., 28, e-mail: pavlova-alica@mail.ru).